

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Stručni studij

PRORAČUN OTPORA UZEMLJENJA TEMELJNOG
UZEMLJIVAČA

Završni rad

David Čerkezović

Osijek, 2016.

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na stručnom studiju	
Osijek,	
Odboru za završne i diplomske ispite	
Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na stručnom studiju	
Ime i prezime studenta:	
Studij, smjer:	
Mat. br. studenta, godina	
Mentor:	
Sumentor:	
Predsjednik Povjerenstva:	
Član Povjerenstva:	
Naslov završnog rada:	
Primarna znanstvena grana rada:	
Sekundarna znanstvena grana (ili polje) rada:	
Zadatak završnog rada	
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: Jasnoća pismenog izražavanja: Razina samostalnosti:
Potpis sumentora:	Potpis mentora:
Dostaviti:	
1. Studentska služba	
U Osijeku,	godine Potpis predsjednika Odbora:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Zadatak rada	1
2. VRSTE UZEMLJENJA	2
2.1. Općenito o uzemljenju.....	2
2.2 Vrste uzemljenja prema namjeni	5
3. TEMELJNI UZEMLJIVAČI	8
3.1. Primjena temeljnih uzemljivača kao združenih uzemljivača	8
3.3. Doprinos armirano betonskih temelja smanjnu otpora uzemljivača stupova dalekovoda	14
3.4. Promijene otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača tijekom eksploatacije	15
3.5. Ugroženost temeljnog uzemljivača	17
3.6. Izračun otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača promatranog objekta.....	17
3.7. Mjerenje vrijednosti otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača promatranog objekta	18
4. ZAKLJUČAK	21
LITERATURA.....	22
SAŽETAK.....	23
ABSTRACT	23
ŽIVOTOPIS	24

1. UVOD

Tema ovog završnog rada je proračun otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača, te doprinos armiranobetonskih temelja pri konstrukciji uzemljenja određenog objekta. Kroz ovaj završni rad objašnjavaju se i osnovni pojmovi uzemljivačkih sustava odnosno pojmova koji su od izuzetne važnosti za razumijevanje same teme i samih uzemljivača. Naime temeljni uzemljivači su uzemljivači koji se ugrađuju u temelje, po čemu su i dobili svoj naziv. Temeljni uzemljivači mogu imati svrhu zaštitnog uzemljivača ili kao gromobranskog uzemljenja. U praksi su se počeli koristiti nakon što su se uvidjele njihove velike prednosti kao što je njihovo vrijeme trajanja (koje je u biti ne ograničeno), te mali otpor rasprostiranja. Temeljni uzemljivači su u primjeni od 60-ih godina prošlog stoljeća, međutim u gromobransku zaštitu objekata nakon usklađivanja propisa formalno se uvode od 1972. godine.

1.1 Zadatak rada

U završnom radu će se teorijski obraditi tema temeljnih uzemljivača kao što će se pojasniti i sami doprinos armiranobetonskih temelja smanjenju otpora nekog objekta ili stupa dalekovoda.

Nadalje će se odraditi proračun određenog temeljnog uzemljivača te usporediti s mjerenim vrijednostima.

2. VRSTE UZEMLJENJA

2.1. Općenito o uzemljenju

Pod uzemljenjem podrazumijeva se galvanski spoj između metalnog uzemljenog dijela električnog uređaja, postrojenja ili neke točke mreže, koja je iz bilo kojeg razloga, bilo vanjskog utjecaja ili kvara, došla pod napon, i zemlje pomoću uzemljivača. Uzemljivači su metalni dijelovi ukopani u zemlju radi ostvarivanja galvanskog spoja uzemljenog dijela sa zemljom. Uzemljenje se izvodi iz sljedećih razloga:

- 1) Da se osigura sigurnost živih bića, ljudi i životinja, u prvom redu ljudi, za vrijeme normalnog i poremećenog stanja električnog sustava
- 2) Da se osigura ispravan rad električnih uređaja, postrojenja, mreža i instalacija
- 3) Da se stabilizira napon za vrijeme prijelaznog (tranzijentnog) stanja i prema tome se onemogućuje u što većoj mjeri nastajanje kvarova za vrijeme trajanja tranzijentnog stanja.
- 4) Da se zajamči sigurnost ljudi s obzirom na napone koji se u uzemljivačkim sustavima javljaju pri najvećim strujama zemljospoja.

Uzemljenje se izvodi sustavom vodiča koji moraju svojim dimenzijama i oblikom, skupa sa slojevima tla okoliša, spriječiti sve štetne posljedice koje nastaju pri poremećaju sustava i stvaranju napona opasnog po čovjeka i živa bića.

Misleći u prvom redu na čovjekovu sigurnost, došlo se do pojmova kao što su dodirni napon i napon koraka koji se ne smiju prekoračiti ni pri kojem poremećaju električnog sustava. Da bi se ostvario dopušteni dodirni napon i napon koraka, uzemljivač mora sa zemljom okoliša pružati što manji otpor rasprostiranju struje. Obično uzemljivač sam po sebi ne pruža veliki otpor struji, pa se otpor uzemljivača u odnosu na otpor tla može zanemariti. Naprotiv, zemlja ili bolje rečeno tlo oko uzemljivača, pruža veliki otpor struji pri rasprostiranju te ako je velika struja zemljospoja I_z može nastati veliki pad napona, a time i veliki dodirni napon i napon koraka, što je posebno izraženo kada tlo ima veliki specifični otpor φ , ili pri velikoj struji zemljospoja I_z . [1]

Za razumijevanje uzemljivača i sustava uzemljenja, moraju se definirati slijedeći pojmovi.

- 1) Pod otporom rasprostiranja R_r podrazumijeva se otpor koji prolasku struje pruža onaj dio zemlje koji se nalazi između uzemljivača i zone u kojoj se struja širi kroz toliki presjek tla da njezina gustoća postaje vrlo mala. Slojevi zemlje izvan te granice, u električnom se smislu nazivaju neutralna zemlja, daleka zemlja ili referentna zemlja. Možemo pojednostavljeno reći da je otpor rasprostiranja R_r uzemljivača otpor između uzemljivača i neutralne zemlje.
- 2) Otpor uzemljenja R_z čini otpor rasprostiranja R_r i otpor zemljovoda R_{zv} , te je $R_z = R_r + R_{zv}$. Kako je otpor zemljovoda zanemarivo male vrijednosti u odnosu na otpor uzemljenja, to se za praktična razmatranja može zanemariti i poistovjetiti otpor uzemljenja s otporom rasprostiranja, dakle $R_z = R_r$. To ima višestruko značenje, jer se propisima i normama definira vrijednost otpora uzemljenja R_z , a ne otpora rasprostiranja R_r . S druge strane otpor uzemljivača definira se kao otpor rasprostiranja. Uspoređujući specifični otpor zemlje relativno dobre vodljivosti $\varphi_z = 100 \Omega m$ sa specifičnim otporom željeza φ_{Fe} (od kojeg se prave trakasti, pločasti i štapni uzemljivači) dobivamo omjer: [1]

$$\frac{\varphi_z}{\varphi_{Fe}} = \frac{100}{10 \cdot 10^{-8}} = 100 \cdot 10^9 \quad (2-1)$$

što znači daje specifični otpor zemlje milijardu puta veći od specifičnog otpora čelika, te se otpor zemljovoda može uvijek zanemariti i poistovjetiti R_z s R_r . Za bakrene uzemljivače taj je omjer još povoljniji. Ispitivanjem uzemljivača i sustava uzemljenja mjeri se otpor uzemljenja, a ne otpor rasprostiranja. S druge strane proračunom otpora uzemljenja utvrđuje se otpor rasprostiranja R_r , a ne otpor uzemljenja R_z . Dakle, iz praktičnih razloga pravi se pogreška, te se otpor rasprostiranja R_r poistovjećuje s otporom uzemljenja R_z . Otpor uzemljenja može se izraziti kao omjer napona U_z između uzemljivača i neutralne zemlje i struje I_z koja struji kroz uzemljivač u zemlju, te je: [1]

$$R_z = \frac{U_z}{I_z} \quad (2-2)$$

- 3) Struja uzemljenja I_z protiče u zemlju preko istosmjerna ili izmjenična uzemljivača, tehničke frekvencije 50 Hz ili 60 Hz ili pak viših frekvencija, i to obično u slučaju kvara. Katkad je uzemljivač obvezni dio strujnog kruga. To je u slučaju kada je uzemljena neutralna točka transformatora ili generatora u elektroenergetskom sustavu, te takve uzemljivače nazivamo pogonskim ili radnim uzemljivačima, jer su stalno dio strujnog kruga. [1]
- 4) Udarni ili impulsni otpor uzemljenja R_i mjerodavan je za odvođenje struje munje koja ima oblik kratkog impulsa. Pri provođenju takvih impulsnih struja, impulsni otpor uzemljenja R_i nema istu vrijednost kao pri provođenju izmjenične struje tehničke frekvencije ili istosmjerne struje, a imat će veću ili manju vrijednost u ovisnosti od duljine uzemljivača, oblika i trajanja prenaponskog vala te specifičnog otpora tla. [1]
- 5) Otpornost tla φ_z , najvažniji je ulazni podatak pri proračunu otpora uzemljenja. Procjenjuje se na osnovi izvida i analize strukture tla ili u najboljem slučaju mjerenjem otpornosti tla na površini i dubini u kojoj se polaže uzemljivač. Otpornost tla φ_z , treba razumijevati kao specifični električni otpor tla i ima dimenziju Ωm . Pri tom ispitivanju potrebno je utvrditi vlažnost i temperaturu tla na dubini ispitivanja tla. To je potrebno kako bi se što točnije utvrdila vrijednost otpornosti tla kao najvažniji podatak u proračunu otpora uzemljenja i razdioba potencijala oko uzemljivača. Slojevi tla bliže uzemljivaču pružaju veći otpor struji od onih udaljenih zbog manjeg presjeka za istu debljinu sloja. Zbog toga prvi slojevi troše veći dio ukupnog napona uzemljivača od onih koji su udaljeniji od uzemljivača. Otpor uzemljenja ne ovisi samo o obliku, dimenzijama i broju uzemljivača, nego i o otpornosti tla i dubini ukopa uzemljivača. [1]
- 6) Dodirni napon U_d razlika je potencijala između napona uzemljivača U_z , kroz koji teče struja zemljospoja I_z , i napona na kojem je osoba koja je dodirnula uzemljenu strukturu. Razumljivo je da je ta razlika potencijala u funkciji udaljenosti od uzemljivača te se dodirni napon definira na udaljenosti od 1 m. Dodirni napon U_d kroz osobu koja je dodirnula uzemljenu strukturu generira određenu struju. [1]

- 7) Napon koraka U_k razlika je potencijala između stopala kada osoba ili živo biće hoda po površini zemlje gdje je razdioba potencijala položenog uzemljivača. Napon koraka ovisi o duljini koraka, te se definira razmakom stopala (koraka) od 1 m. Namjerno je rečeno živo biće, a ne samo čovjek, jer se u praksi susreću problemi zaštite živih bića (najčešće četveronožaca, konja, goveda i sl.) koji stradavaju zbog napona koraka, naime, zbog većeg razmaka nogu dolaze pod veći napon koraka od čovjeka.[1]



Slika 2.1) Razdioba potencija oko uzemljivača [2]

2.2 Vrste uzemljenja prema namjeni

Prema namjeni koji imaju u pogonu, uzemljenja se mogu podijeliti na četiri osnovne vrste:

- 1) Pogonsko ili radno uzemljenje
- 2) Zaštitno uzemljenje
- 3) Gromobransko uzemljenje
- 4) Združeno uzemljenje.

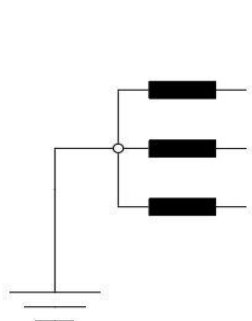
1) Pogonsko uzemljenje, slika 2.2) , karakterizirano je time da je na zemlju spojena točka postrojenja koja pripada strujnom krugu, pa je na taj način sam strujni krug galvanski spojen sa zemljom. Na slici 2.2) prikazano je uzemljenje nultočke preko transformatora kao najčešće pogonsko ili radno uzemljenje. No, i bilo kakvo uzemljenje mreže (kruto ili neposredno

uzemljenje zvjezdišta, uzemljenje zvjezdišta preko otpora, reaktancije ili impedancije, uzemljenje nultog vodiča NN mreže) spada u pogonsko uzemljenje.

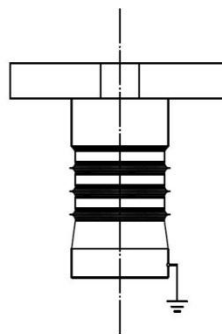
2) Zaštitno uzemljenje karakterizirano je time što je sa zemljom spojena točka postrojenja koja ne pripada strujnom krugu i koja ne smije doći u galvansku vezu sa strujnim krugom, ali ne može se izbjeći da do takve veze dođe zbog kvara na izolaciji. Na slici 2.3) prikazano je uzemljenje konstrukcijskih dijelova postrojenja (npr. nosači izolatora) kao tipičan primjer takvog uzemljenja. [1]

3) Gromobransko uzemljenje, slika 2.4), služi za odvod u zemlju struje munje, tj. struje prouzrokovane atmosferskim pražnjenjima, spajajući gromobransku instalaciju s gromobranskim uzemljivačem. Gromobransko uzemljenje može biti odvojeno ili zajedničko sa zaštitnim i pogonskim uzemljenjem. Gromobransko uzemljenje treba dimenzionirati za uvjete impulsne struje munje, pa se zbog toga naziva i impulsni uzemljivač. Prema tome, pogonsko uzemljenje stalno obavlja svoju funkciju za vrijeme rada elektroenergetskog sustava, gromobransko uzemljenje samo za vrijeme trajanja prenapona, a zaštitno uzemljenje samo za vrijeme trajanja kvara na izolaciji. Pojedina uzemljenja imaju dvojaku funkciju, npr. uzemljenje željeznog ili betonskog stupa dalekovoda sa zaštitnim užetom ima funkciju zaštitnog uzemljivača i gromobranskog uzemljivača, te se za te uvjete rada mora i projektirati, slika 2.5). [1]

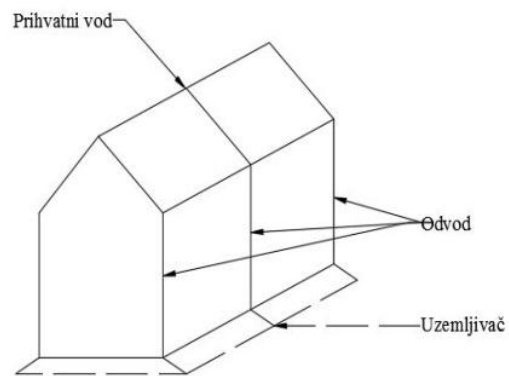
4) Združeno uzemljenje, slika 2.6), spajanje je dvaju ili više različitih vrsta uzemljenja na jedan uzemljivač, na primjer pogonskog i zaštitnog uzemljenja ili pogonskoga zaštitnog i gromobranskog uzemljenja, te zbog toga združeno uzemljenje mora zadovoljiti uvjete svih vrsta uzemljenja koja se spajaju zajedno.[1]



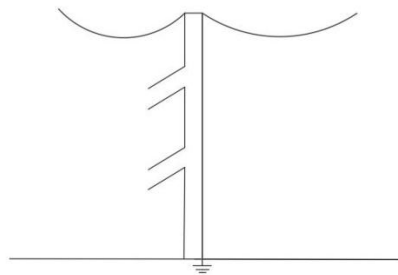
Slika 2.2) Pogonsko uzemljenje zvjezdišta transformatora



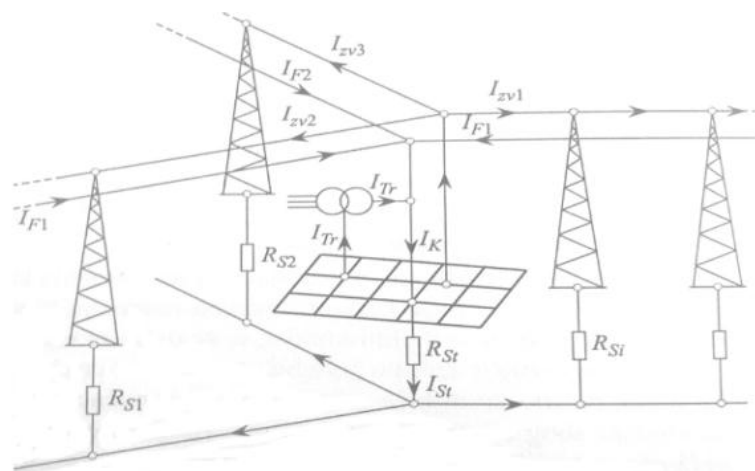
Slika 2.3) Zaštitno uzemljenje konstrukcijskih dijelova



Slika 2.4) Gromobransko uzemljenje



Slika 2.5) Uzemljenje stupa dalekovoda sa zaštitnim užetom



Slika 2.6) Združeno uzemljenje [1]

3. TEMELJNI UZEMLJIVAČI

3.1. Primjena temeljnih uzemljivača kao združenih uzemljivača

Temeljni uzemljivači ugrađuju se u betonske temelje objekta postavljanjem metalnih vodiča tako da preko velike površine betona dolaze u kontakt s okolnom zemljom. Zato se nazivaju temeljni uzemljivači.

Temeljni uzemljivači po svojoj su konstrukciji jednostavni i vrlo djelotvorni. Oni mogu poslužiti i kao zaštitni i kao gromobranski uzemljivači, tj. kao združeni uzemljivači. Velika prednost takvih uzemljivača sastoji se u tome što se nalaze u betonu, koji ih štiti od korozije, pa je njihovo vrijeme trajanja praktično neograničeno. Osim toga, budući da je beton pod zemljom uvijek vlažan, takav uzemljivač ima s tlom dobar dodir, i to na relativno velikoj površini. To sve skupa omogućuje postizanje manjeg otpora rasprostiranja, osobito u slabo vodljivoj zemlji.

Otpor uzemljenja temeljnih uzemljivača približno se izračunava s pomoću formule koja vrijedi za polukuglaste uzemljivače:[1]

$$R_z = \frac{\varphi_z}{\pi \cdot d} \quad (3 - 1)$$

gdje je:

φ_z - otpornost tla, Ωm

d – promjer polukugle za koju zamišljamo da je jednakog obujma kao i betonski temelj u koji je ugrađen metalni vodič, kao temeljni uzemljivač, m.

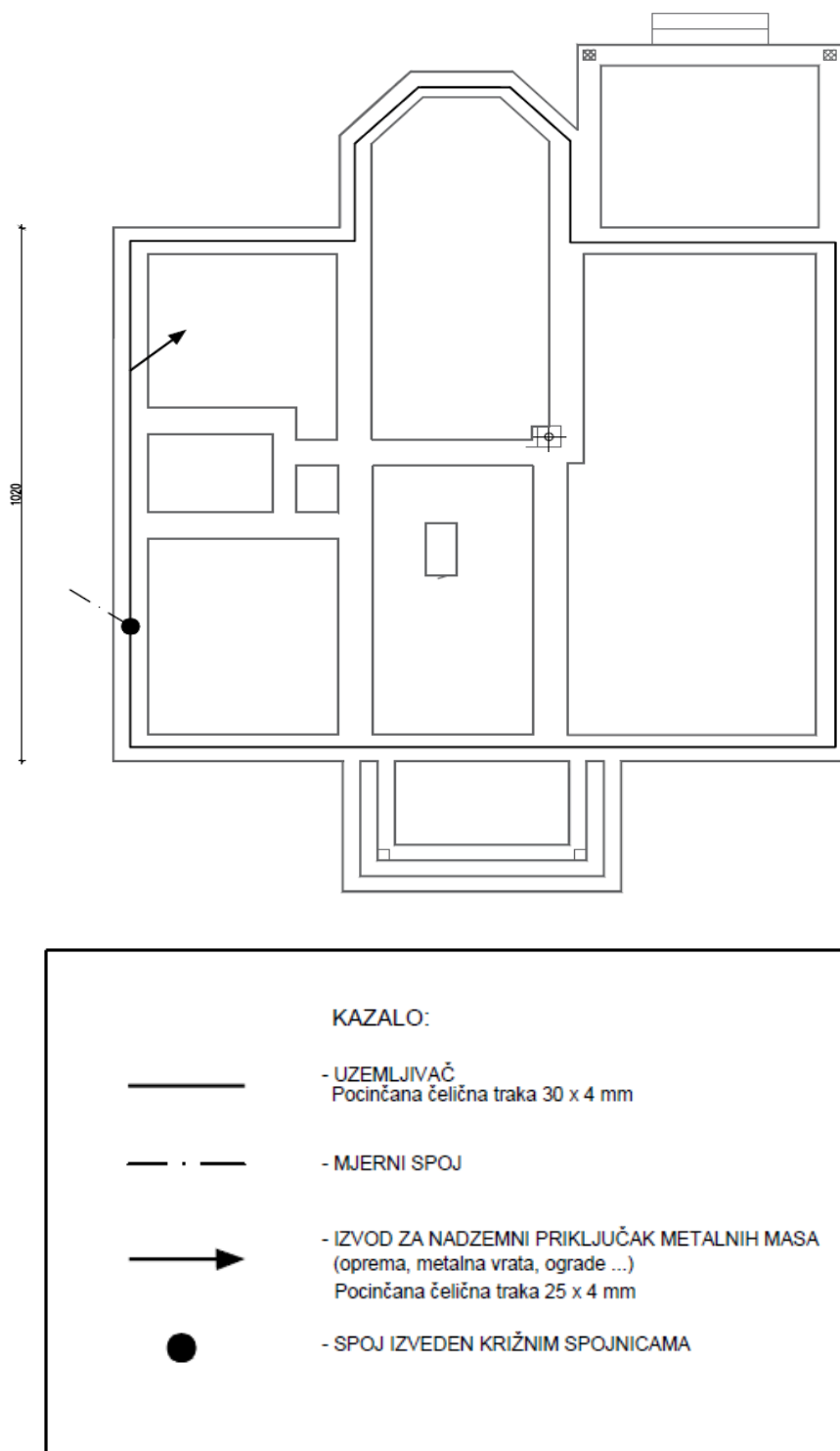
Promjer d se računa iz izraza:

$$d = 1.57 \cdot \sqrt[3]{V_t}, \text{ m} \quad (3 - 2)$$

Pri čemu je V_t obujam temelja u m^3 .

Otpor uzemljenja takvih uzemljivača sastoji se od otpora betona i otpora slojeva zemlje koji obuhvaćaju betonski temelj. Daljnje prednosti takvih uzemljivača osobito su izražene spajanjem

svih metalnih instalacija i konstrukcija sa sustavom uzemljenja u svrhu izjednačavanja potencijala u samoj blizini objekta, što znači smanjenje opasnoga dodirnoga napona i napona koraka. Budući da su uzemljivači ugrađeni u betonske temelje, na njihov otpor rasprostiranja ne djeluje mnogo sušenje i zamrzavanje zemlje ili bilo kakve druge vanjske klimatske promijene.



Slika 3.1) Plan polaganja uzemljivača u betonski temelj.

Temeljni uzemljivač izvodi se od pocinčane čelične trake 25 x 4 mm, 30 x 4 mm ili od pocinčanog betonskog željeza ϕ 10 mm. Postavlja se na sloj betona debljine 10 cm, marke (obično) MB 20, tako da uzemljivač čini zatvoreni prsten, slika 3.1).

Temeljni uzemljivač spaja se sa željeznom armaturom armiranobetonske konstrukcije u temelju, u nosive stupove, a u pravilu na zadnjoj armiranobetonskoj ploči, polaganjem također temeljnog uzemljivača. Spajanje sa željeznom armaturom izvodi se odgovarajućim spojnica ili zavarivanjem.[1]

3.2. Armirani temelji kao temeljni uzemljivači gromobranske instalacije

Temeljni uzemljivači upotrebljavaju se u Poljskoj od 60-tih godina prošlog stoljeća. U gromobransku zaštitu objekata formalno su uvedeni pri usklađivanju propisa 1972. godine za dva rješenja uzemljivača. Prvo rješenje, koje je do određene mjere slično rješenju u Njemačkoj [9], temelji se na ulaganju metalne trake ili štapa u temeljni rov. Drugo se rješenje temelji na korištenju armiranobetonskih dijelova objekta ili tehnoloških instalacija pod zemljom. To rješenje dobiva sve veću važnost. Dodatne trake i štapovi ulažu se kada nedostaje armatura ili se ona iz bilo kojeg razloga ne može upotrijebiti. [3]

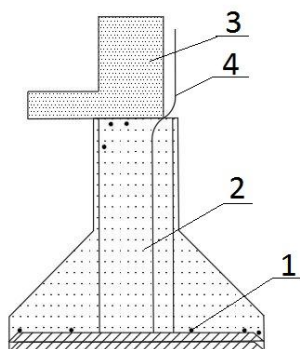
Širenju ideje uporabe armiranobetonskih temelja u cilju uzemljivanja prethodila su svestrana laboratorijska ispitivanja i eksperimenti, kao i svladavanje niza popratnih problema. Sva svojstva tih uzemljivača još nisu ni detaljno proučena. Dobiveni su, međutim, već podaci o njihovoj učinkovitosti, trajnosti i stabilnosti, koji ukazuju na njihovu jasnu konkurentnost u odnosu na klasične uzemljivače.

Tipovi temelja:

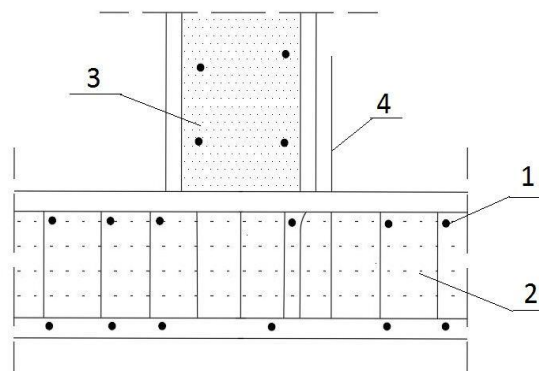
- 1) temeljna klupa
- 2) temeljna ploča
- 3) temeljna stopa

Ovisno o prostornim konstrukcijskim rješenjima postoje u praksi tri tipa armiranih temelja: temeljna klupa, stopa i ploča (blok). Temeljne klupe stvaraju mrežastu strukturu potpore stijene objekta, stope čine podlogu nosivih stupova industrijskih hala, a ploče daju površinsku (plošnu)

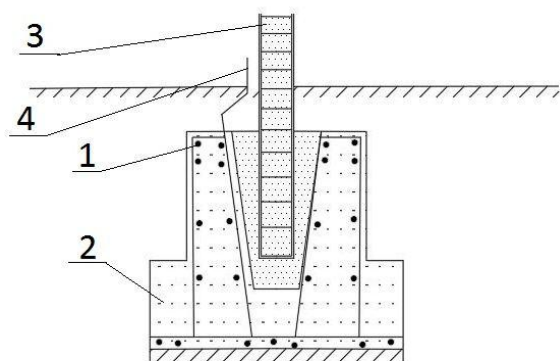
strukturu temelja pod cijelim objektom ili ispod njegova većeg dijela. Na slikama 3.2), 3.3), 3.4), prikazani su primjeri navedenih tipova temelja; prikazani su detalji temeljnog uzemljenja, način izvedbe i spajanje uzemljivača i armature za temeljnu klupu, temeljnu ploču i temeljnu stopu. Izvedbe pojedinih tipova temelja glede formiranja betona i smještaja armature, zajedno s geološkim uvjetima i stanjem vanjske površine (izolacijskog sloja protiv vlage) odlučuje o električnim svojstvima uzemljivača.[1]



Slika 3.2) temeljna klupa [1]



Slika 3.3) temeljna ploča [1]



Slika 3.4) temeljna stopa [1]

- 1 – armatura
- 2 – klupa, ploča, stopa
- 3 – stup, stijena
- 4 - uzemljivački vod

Temeljni je uzemljivač objekta složeni sustav elemenata, vrlo složen s električnog stajališta i težak za određivanje računskih parametara. Unatoč tome bilo je pokušaja točnog računanja. U takvoj situaciji najracionalnije je izračunati otpor uzemljenja temeljnih uzemljivača oblika temeljne stope ili klupe po približnim formulama : [3], [4]

$$R_z = \varphi_z \cdot K_s \quad (3-3)$$

$$R_z = \varphi_z \cdot K_{pt} \quad (3-4)$$

Na temelju analitičkih procjena korigiranih eksperimentalnim podacima može se uzeti da je za uzemljivače u obliku temeljne stope V_t , faktor korekcije:

$$K_s = \frac{0.2}{\sqrt[3]{V_t}} \quad (3-5)$$

A za uzemljivače od temeljnih klupa i ploča površine S_t , faktor korekcije:

$$K_{pt} = \frac{(0.45 \dots 0.6)}{\sqrt{S_t}} \quad (3-6)$$

Veće vrijednosti K_{pt} , odgovaraju malim uzemljivačima (s jednom ili dvjema petljama), dok za prostranije i veće uzemljivače odgovaraju manje vrijednosti. Daljnje pojednostavnjenje koje čini koeficijent K_{pt} ovisi samo o obujmu ili površini što je zauzima uzemljivač daje podatke koji su prikazani u tablici 3.1). Prema tim podacima istovjetni temelji u istovjetnim geološkim uvjetima mogu imati različite vrijednosti izmjerene otpornosti [1].

Tablica 3.1) Usporedba izračunatih i izmjerenih otpora uzemljenjatemeljnih uzemljivača.

$S_{temelja}, m^2$	801	1230	953	1106
$\varphi_z, \Omega m$	100	15	23	288
$R_{z,izmjerena}, \Omega$	2,6 – 4,6	0,35 – 2,6	0,55 – 3,13	1,0 – 6,4
$R_{z,izračunat}, \Omega$	2,1	0,26	0,45	5,2

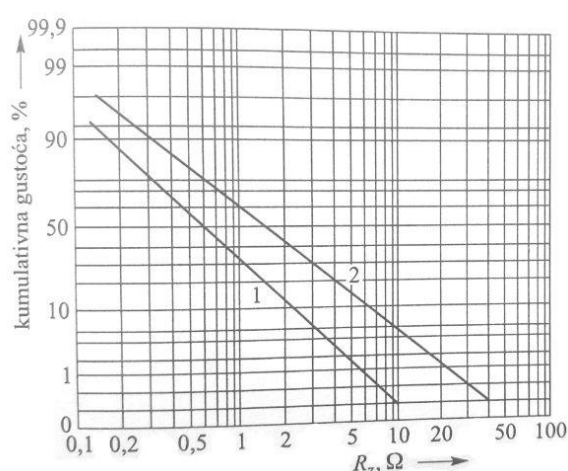
Iz tablice 3.1) vidimo veliko odstupanje izmjerenog otpora uzemljenja prema onom izračunanom kod temelja manje površine (u ovom primjeru $S_t = 801 \text{ m}^2$), koje se kreće od 124 % do 219 %. Kod veće površine temelja i φ_z (u ovom primjeru $S_t = 1106 \text{ m}^2$, $\varphi_z = 288 \text{ } \Omega \text{ m}$) izmjerene vrijednosti u odnosu na izračunanu kreću se od 19 % do 123 %. Dakle, mnogo su povoljnije.

Statistička mjerenja i na temelju frekvencije pojavljivanja različitih vrijednosti otpora uzemljenja stambenih blokova srednje veličine pokazuju da je njihova srednja vrijednost oko 0,6 Ω kod mjerenja tehničkom metodom (krivulja 1 na slici 3.2-4), i oko 1,3 Ω kod mjerenja kompenzacijskom metodom (krivulja 2 na slici 3.2-4). Ispravnost izvršene ocjene potvrđuju Feydtovi rezultati [5]. On je analognim mjerenjima na različitim vrstama uzemljivača (klupe,

stope i ploče) dobio vrijednosti između onih prikazanih krivuljama 1 i 2. Na 20 primjera samo je jedan objekt vrlo malih dimenzija ($11,4 \text{ m}^2$) imao otpornost preko 7Ω . [1]

Druga mjerenja u stambenim blokovi-ma u varšavskim naseljima ni u jednom primjeru nisu dala veće otpornosti od 4Ω .

Kod uzemljivača većih izmjera, mjerenje otpora uzemljenja tehničkom metodom mjerodavno je za procjenu udarnog otpora uzemljenja. Slika 3.5) pokazuje da u pretežnom broju slučajeva udarni otpor uzemljenja ne prelazi nekoliko ohma. Možemo se složiti s Prastovim mišljenjem da se temeljni uzemljivači mogu upotrebljavati za zaštitu od udara munje bez dokazivanja vrijednosti njihove otpornosti. Treba samo voditi brigu o izvedbi spojeva (povezivanju). [6]



1 – tehnička metoda

2 – komezacijska metoda

Slika 3.5) Kumulativna gustoća pojavljivanja različitih vrijednosti otpora uzemljenja stambenih blokova. [1]

Kao donekle zasebni problem pojavljuje se stabilnost otpora uzemljenja, kako sezonska tako i višegodišnja. Nakon otprilike 3 mjeseca od izvedbe temeljnog uzemljivača njegov se otpor stabilizira. To se povezuje s promjenom njegove strukture za vrijeme vezanja kao i s činjenicom da otpornost u tlo uronjenog betona postiže s vremenom najmanju vrijednost (najčešće $40...50 \Omega \text{ m}$, rijetko $200...300 \Omega \text{ m}$), neovisno o stupnju vlage tla. Rezultati mjerenja gotovo su neovisni o promjenama otpornosti tla, koje se kreće u širokim granicama. Kao povoljni čimbenik može se uzeti u obzir i razmak između armature i tla, ispunjen betonskom masom, što smanjuje gustoću struje u tlu. Otpornost betona raste s njegovim starenjem. Zato treba smatrati da će otpor uzemljenja rasti. [1]

Važan je čimbenik, koji utječe na otpor uzemljenja izolacija temelja protiv vlage. Najčešće su temelji jednostruko ili višestruko premazani različitim sredstvima iz skupine abizola, čija srednja statistička čvrstoća na električni proboj iznosi od $1,4$ do $4,8 \text{ kV}$. Udarni napon munje tu izolaciju

s lakoćom probije. U slučaju struja kratkog spoja ta izolacija može u početnom vremenu dovesti do porasta otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača, ali nakon polaganja temelja u tlo kroz nekoliko tjedan padne na prihvatljivo malu vrijednost. [7]

3.3. Doprinos armiranobetonskih temelja smanjenju otpora uzemljivača stupova dalekovoda

Do prije 60-ak godina vladalo je mišljenje da je ne moguće zaštititi dalekovod od 110 kV i više od izravnih udara munje, a danas su gotovo svi dalekovodi izvedeni tako da su s velikom vjerojatnošću zaštićeni od atmosferskih pražnjenja i stvaranja sljedećih prenapona:

- 1) elektromagnetske indukcije
- 2) izravnog udara na fazne vodiče
- 3) povratnog preskoka.

Elektromagnetska indukcija obično je bezopasna za dalekovode napona od 110 kV i više. Mali broj udara munje izravno pogađa fazne vodiče na propisno zaštićenom vodu. Povratni preskok najinteresantniji je i on se pojavljuje ako je razlika potencijala između konstrukcije faznog vodiča veća od podnosivog napona izolacije voda.

Statističkim i laboratorijskim istraživanjima došlo se do zaključka da je vjerojatnost udara munje u neki uzemljeni objekt to veća što je otpor uzemljenja manji. To se može objasniti procesom koji nastaje u posljednjoj fazi višestrukog brzog uzastopnog pražnjenja naelektriziranog oblaka prema zemlji, kada se pojavljuje nekoliko usmjerenih munja različitog lokaliteta, a do najvećeg pražnjenja dolazi duž puta koji ima najnižu impedanciju. Ipak, to ne znači da treba graditi dalekovode s visokima vrijednostima otpora uzemljenja stupova, jer su oni, bez obzira na otpor uzemljenja, izloženi atmosferskim pražnjenjima, a dalekovodna konstrukcija to lakše rasipa struju groma u zemlju što je manji otpor uzemljenja. Tu činjenicu dokazuju i brojne studije i rekonstrukcije uzemljivača dalekovoda, nakon kojih je smanjen broj ispada dalekovoda iz pogona zbog atmosferskih pražnjenja. Prema iskustvu pri projektiranju uzemljivača naročito je važno uzeti u obzir doprinos armiranobetonskog temelja stupa za postizanje zadovoljavajućeg otpora rasprostiranja.[1]

Tijekom 1984. I 1985. godine u BiH izgrađeni su dalekovodi od 110 kV Višegrad – Rudo, Bugojno – G. Vakuf, Jablanica – Prozor, i Derventa – Gradačac. Na tim je dalekovodima odabrano 45 stupova koji su postavljeni na terenima različite otpornosti, od 10 i 15 Ωm pa sve do 3600 Ωm u gornjem sloju. Donji je sloj imao otpornost od 20 do 1500 Ωm .

Od promatranih 45 stupova, 6 je bilo s uzemljivačem tipa A, 2 s uzemljivačima tipa D, 1 s uzemljivačem tipa D1, 7 s uzemljivačem tipa T i 10 bez dodatnih uzemljivača.[1]

Iz rezultata mjerenja otpora temelja na promatranim stupnim mjestima tijekom trogodišnjeg razdoblja vidljivo je bilo da se nakon tri godine od izljevanja armiranobetonskih temelja, (od ukupno 45 stupova čiji su temelji u terenu s veoma različitim vrijednostima otpornosti, 41 je stup je imao otpor uzemljenja ispod 10 Ω , a samo dva otpor iznad 25 Ω) otpori temelja ponašaju slično otporima s dodatnim uzemljivačima, tj da ovise o klimatskim čimbenicima, te da njihove vrijednosti i nakon 3 godine od dana postavljanja su u granicama koje zadovoljavaju uvijete uzemljenja.

3.4. Promijene otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača tijekom eksploatacije

Prema Fritschovim istraživanjima najveći porast otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača treba očekivati u prvom desetljeću eksploatacije. Provedena su mjerenja otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača za objekte različitih površina temeljnog uzemljivača S_t , za različite otpornosti tla φ_z i za vrijeme eksploatacije od 1 do 14 godina. Rezultati su dani u tablici 3.2-2. Iz izmjerenih otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača R_z vidi se velika promjena otpora tijekom eksploatacije, ali se ne može uspostaviti zakonitost $R_z = f(t)$. Omjer $R_{z,izmjerena} / R_{z,izračunata}$ iznosi i do 30.52. [1]

Tablica 3.2) Promjena otpora temeljnog uzemljivača za razdoblje eksploatacije od 14 godina za razne površine objekata te omjer izmjerenog i izračunatog otpora temeljnog uzemljivača [1]

Vrijeme eksploatacije, godina	1	1	2	3	4	5	6	9	10	12	13	14
$\varphi_z, \Omega m$	672	400	448	462	1325	484	630	953	674	798	667	445
Površina objekta temeljnog uzemljivača S_t, m^2	61	61	30	16	28	23	23	23	21	21	23	23
$R_{z,izmjerena}, \Omega$	1,4	4,5	1,2	2,9	1	3,2	5,1	11,5	6,5	11,2	16,3	0,65
$R_{z,izračunata}, \Omega$	1,4	1,8	0,85	0,45	0,46	0,6	0,5	0,45	0,5	0,45	0,53	0,65
$\frac{R_{z,izmjerena}, \Omega}{R_{z,izračunata}, \Omega}$	1	2,5	1,4	6,5	2,17	5,1	9,3	26	13	25	30,5	13,8

Iz tablice 3.2) može se zaključiti da je do 5 godina eksploatacije blaži porast, a nakon 5 do 14 godina veći porast otpora uzemljenja. Kako nema podataka koliko bi trebalo povećati izračunani otpor uzemljenja temeljnog uzemljivača u određenim vremenskim intervalima eksploatacije objekta, može se reći da je preporučljivo prema [7] primijeniti sljedeće faktore korekcije:

- 1) do 5 godina eksploatacije objekta: $K_{tuz} \approx 2$
- 2) iznad 5 godina eksploatacije objekta: $K_{tuz} \approx 10$

Međutim, i tako visoki korekcijski faktor K_{tuz} ne bi trebao postavljati zapreku za sve veću primjenu temeljnih uzemljivača, jer su obujam i površina temeljnih uzemljivača veliki, te je izračunani otpor uzemljenja mali, recimo $< 1 \Omega$, pa i primjena faktora korekcije od 10, daje otpor uzemljenja od 10Ω što nije previše ni za gromobranski ni za združeni uzemljivač. Pored toga, ako bismo primijenili i manji faktor korekcije, te npr. nakon 10 godina eksploatacije, mjerenjem zaključili da otpor uzemljenja ne zadovoljava, mogli bismo dodavanjem trakastih ili štapnih uzemljivača na sustav temeljnog uzemljivača smanjiti otpor uzemljenja na željenu vrijednost. Uvođenjem faktora korekcije otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača K_{tuz} formule za izračun otpora uzemljenja (3-1), (3-3) i (3-4) poprimaju konačan oblik:[1]

$$R_{z=} K_{tuz} \cdot \frac{\varphi_z}{\pi \cdot d}, \quad (3-7)$$

$$R_{z=} K_{tuz} \cdot \varphi_z \cdot K_s, \quad (3-8)$$

$$R_{z=} K_{tuz} \cdot \varphi_z \cdot K_{pt}, \quad (3-9)$$

3.5. Ugroženost temeljnog uzemljivača

Temelj, kao uzemljivač, izložen je termičkim, dinamičkim i elektrokemijskim djelovanjima zbog prolaza struje munje. Iz eksperimentalnih podataka poznato je da dopuštena gustoća udarne struje na površini armature u tlo zakopanog temelja nije manja od 3 A/cm^2 . To u praksi znači da površina koja odgovara jednoj stopi ili jednom metru temeljne klupe od oko $2,4 \times 10^3 \text{ cm}^2$ do iznad $5,2 \times 10^3 \text{ cm}^2$ može odvesti udarnu struju od nekoliko desetaka kiloampera. Prekoračenje te veličine malo je vjerojatno.[8]

Struja munje ne ugrožava armaturu ni termički (s obzirom na njezin znatan presjek) ni elektrokemijski (s obzirom na kratko vrijeme prolaza). U najnepovoljnijim uvjetima prolaza struje temperatura armature može porasti jedva nekoliko Celziusovih stupnjeva, a za nagrizanje sloja čelika debljine 0,1 mm struja gustoće 3 A/cm^2 trebala bi prolaziti 2,7 sata. Veću koroziju može prouzročiti djelovanje elektrokemijskih potencijala.[1]

3.6. Izračun otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača promatranog objekta

Potrebno je izračunati otpor uzemljenja temeljnog uzemljivača za betonski temelj zgrade sa slike 3.1), za otpornost tla od $50 \Omega\text{m}$ i dubinu temelja od 0.9 m.

S obzirom da je širina temelja varirala između 0.5 m i 0.6 m, obujam temelja računao se u ovisnosti u tome.

Dobivena vrijednost obujma temelja je 24.5 m^3 prema tome je :

$$d = 1.57 \cdot \sqrt[3]{24.5} = 4.56 \text{ m}$$

Otpor uzemljenja temeljnog uzemljivača iznosi:

$$R_z = \frac{\varphi_z}{\pi \cdot d} = \frac{50}{\pi \cdot 4.56} = 3.49 \Omega$$

3.7. Mjerenje vrijednosti otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača promatranog objekta

Uređaj koji se koristio za provedbu zadatka u kojem je se trebao izmjeriti otpor uzemljenja temeljnog uzemljivača, (u ovom slučaju pocinčana čelična traka, FeZn , 25 x 4 mm), je UNILAP 100 XE.

UNILAP 100 XE je višenamjenski mjerni instrument koji može mjeriti razne veličine kao i obavljati razne funkcije, a neke od njih su: mjerenje otpora te impedancija petlje, struje kvara, mjeriti napone i frekvencije te obavljati funkcije poput indikacije faza ili provjere zaštitnog vodiča, te mnoge druge.



Slika 3.6) Prikaz UNILAP 100 XE

Tehničke karakteristike UNILAP 100 XE (osnovno): [9]

- 1) testni napon: 3700 V
- 2) ulazna zaštita: od strane programskog paketa te varistora protiv previsokih napona $U_{eff} > 600 \text{ V}$ i za brzo-djelujuće osigurače (6.3 A / 500 V)
- 3) maksimalni napon prema zemlji (nuli) : $U_{eff} = 300 \text{ V}$
- 4) naknadno napajanje : 6 x 1.5 V alkal-manganske baterije ili akumulatorska baterija 7.2 V / 1500 mAh (opcionalno)
- 5) dimenzije : 265 x 265 x 90 mm (dužina x širina x visina)
- 6) težina : cca. 2.3 kg bez baterije te dodataka
- 7) radna temperatura, raspon: - 10° C ... + 50° C [X]

Rezultati mjerenja:

$$R_{z,izmjereno} = 1.89 \Omega = 1.89 \Omega$$

Provedbom mjerenja otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača dobiva se rezultat od 1.89 Ω . S obzirom da je izračunata vrijednost znatno viša (3.49 Ω) od izmjerene, razlika u dobivenim rezultatima se objašnjava kroz nekoliko bitnih čimbenika:

- 1) Otpor uzemljenja temeljnog uzemljivača koji je izračunat bi trebao biti najveća očekivana vrijednost otpora uzemljenja temeljnog uzemljivača (a ne 100 % točna vrijednost koja će se dobiti i mjerenjem), odnosno neka vrsta gornje granice koja bi se mogla dobiti fizičkim mjerenjem „ na licu mjesta“ .
- 2) Za sustav uzemljenja se osim FeZn trake koristila se i željezna armatura temelja, gdje je vidljivo iz slike 3.1) da je povezana sa ostalim dijelovima temelja , koji uvelike (cca. za 80 %), povećavaju obujam samog temelja koji računom nije predviđen . S obzirom da se povećava obujam temelja, prema formuli (3 – 1), vidljivo je da će R_z biti manji u konačnici.
- 3) Dubina temelja promatranog objekta je 0.9 m ,te otpornost tla φ_z , koja se koristila pri izračunu također se ne može uzeti u obzir kao 100 % točna informacija, iz razloga što je veća dubina u pitanju , to se i vlažnost tla povećava ,kako se vlažnost tla povećava tako φ_z biva manji, te pridonosi umanjenom izmjenom rezultatu i ako u to sve još pridodamo i iznimno kišan lipanj (mjesec kada se mjerenje radilo) ,odnosno povećanu vlažnost tla iz toga razloga (što je dodatno smanjilo otpornost tla φ_z , odnosno $R_{z,izmjereno}$,u

konačnici), možemo objektivno zaključiti , zašto i iz kojih razloga je došlo do odstupanja između izmjerene i izračunate vrijednosti.

4. ZAKLJUČAK

Proučavajući temu temeljnih uzemljivača odnosno uzemljivačkih sustava, dolazi se do nekoliko spoznaja. Temeljni uzemljivači kao uzemljivači se nisu znato mijenjali kroz svoj vijek postojanja, od početka primjene koje seže još u 60-te godine prošlog stoljeća. U biti, izvodili su se na isti način, a to je polaganjem u temelje. Službeno kao gromobranska zaštita javljaju se 70-tih godina prošlog stoljeća te se od tada nije ništa znatnije promijenilo koristeći temeljne uzemljivače kao za objekte poput obiteljskih kuća.

Međutim ekspanzijom elektroenergetskog sustava, odnosno povećanom potražnjom za električnom energijom, dolazi i do potrebe za izgradnjom infrastrukture koja bi mogla tu električnu energiju i prenositi. Izgradnjom novih stupova dalekovoda koji su, logično bili nužni širenjem elektroenergetskog sustava, provodile su se zanimljive studije, a to je koliko armiranobetonski temelj može utjecati na otpor rasprostiranja stupa dalekovoda. Došlo se do zanimljivih rezultata koji su pokazali da se pravilnim izljevom armirano-betonskog temelja otpor rasprostiranja može dovesti do te mjere da dodatni uzemljivač nije niti potreban, odnosno da otpor uzemljenja armirano-betonskog temelja je dovoljno mali kako bi dalekovod ostao siguran (i bez dodatnog uzemljivača) za sve koje bi se nalazili u blizini.

Izračunom u ovom završnom radu zaključilo se baš to, da je armatura igrala bitnu ulogu pri izračunu konačnog rezultata otpora uzemljenja uzemljivača. Pri izračunu nije se uzeo u obzir utjecaj armature na izračun otpora uzemljenja uzemljivača, te je mjerenjem dobivana znatna razlika. Time se potvrđuje da se s armiranobetonskim temeljom, u konačnici, može smanjiti otpor uzemljenja, što je prikladno kod stupova dalekovoda. Što se tiče same razlike pri mjerenju rezultata, razlika u odnosu na izračun bi se mogla smanjiti na jednostavan način, a to je mjerenje u adekvatnim uvjetima, kada je otpornost tla što više slična očekivanoj (tj. vlažnost tla što manja) te da imamo temeljni uzemljivač koji nije povezan s armaturom kako bi dobili rezultat što bliži onom izračunatom.

LITERATURA

- [1] Franjo Majdančić: Uzemljivači i sustavi uzemljeja, Elektrotehnički fakultet, Osijek., 2004.
- [2] Srđan Žutobradić, Projektiranje električnih postrojenja – IV, http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/ze/nastava/svel/pep/download/PREDAVANJA%204.pdf, pristupljeno: 15.6.2016.
- [3] Jakelja, J.: Uzemljivači stupova distributivnih vodova, Elektrotehnika, Zagreb, 1986.
- [4] Padelin, M.: Zaštita od groma. Školska knjiga, Zagreb, 1987.
- [5] Kosek, Z. Vlačić, J.: Zbirka popisa za električne instalacije niskog napona, Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti, Zagreb, 1977.
- [6] Dilberović, N. Velder, M.: Uzemljivači dalekovodau raznim uslovima vodljivosti tla, Elektrotehnika, Zagreb, 1986.
- [7] Požar, H.: Viskonaponska rasklopna postrojenja, Tehnička knjiga, Zagreb, 1973.
- [8] Kurtović, M.: Doprinis kvaliteti uzemljenja materijala koji se nalazi u kanalu oko uzemljivača, XV savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Beograd 1983.
- [9] UNILAP 100 XE priručnik za uporabu, <http://www.have-digitap.nl/file/product...unilap-100xe/FID1492>, pristupljeno: 28.6.2016.

SAŽETAK

U ovom završnom radu obradila se tema temeljnih uzemljivača, ali su dotaknuti i neki osnovni pojmovi uzemljivačkih sustava koji su bitni za razumijevanje obrađene teme. Izvršen je izračun otpora rasprostiranja temeljnog uzemljivača na zadanom primjeru te je provedeno mjerenje i utvrđena je stvarna vrijednost otpora rasprostiranja promatranog temeljnog uzemljivača. Provedena je analiza dobivenih rezultata.

Ključne riječi: uzemljivač, uzemljenje, temeljni uzemljivač, sustav uzemljenja otpor, armirano-betonski, temelj, mjerenje , rezultat, analiza.

ABSTRACT

CALCULATION FOR GROUND RESISTANCE OF FOUNDATION EARTHING

In this final work, theme of foundation earthing was processed but and some basic terms of grounding systems are mentioned which are crucial for understanding of precessed theme. Calculations for ground resistance of foundation earthing on observed example are done, also measurments are conducted and real value of resistance, that was previously calculated is established. Analysis of the results was also conducted.

Key words: earthing, grounding, foundation earthing, grounding system, resistance, reinforced concrete, foundation, measurment, result, analysis.

ŽIVOTOPIS

David Čerkezović rođen je u Vinkovcima 10. siječnja 1995. godine. Osnovnu školu završio je u Gunji u razdoblju od 2001. do 2009. godine. Godine 2009. upisuje Tehničku školu u Županji, smjer elektrotehničar koju završava 2013. godine. Nakon toga upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija kojeg trenutno pohađa.